

ความเหมาะสมของพื้นหลักฐานกับสภาพพื้นผิวยอดดอยของประเทศไทย

3.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับลักษณะของโลกรูปทรงรี

ถ้าสมมุติว่าโลกประกอบด้วยของเหลวที่มีความหนาแน่นสม่ำเสมอเท่ากันตลอด และไม่มีแรงใด ๆ จากภายนอกมากระทำต่อโลก มวลสารของโลกทั้งหมดจะดึงดูดต่อกันตามกฎแรงโน้มถ่วงของนิวตันมีผลให้โลกของเราซึ่งหมุนรอบตัวเองมีลักษณะเป็นรูปทรงรี (Ellipsoid) รูปทรงรีนี้มีเส้นผ่านศูนย์กลางตามแนวเหนือใต้ (ซึ่งเป็นแกนสมมาตร) สั้นกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางในแนวศูนย์สูตรเล็กน้อย ทุก ๆ จุดบนผิวของทรงรีนี้ จะมีค่าศักยะแรงดึงดูดเท่ากันหมด ทำให้ของเหลวที่ประกอบขึ้นเป็นลูกโลกอยู่ในสภาวะสมดุลคือไม่มีการไหล แต่ในสภาวะแท้จริงโลกมีความหนาแน่นของมวลสารไม่สม่ำเสมอ (ส่วนที่อยู่ใจกลางโลกจะมีความหนาแน่นสูงสุด ส่วนที่อยู่ถัดออกมามีค่าลดลงตามลำดับ จนถึงค่าต่ำสุดที่บริเวณผิวโลก) เปลือกโลกส่วนที่เป็นดินและหินก็ไม่ใช่ของเหลว การเปลี่ยนแปลงทางธรณีวิทยาก็ยังมีอยู่ตลอดเวลาและยังมีอิทธิพลของแรงดึงดูดจากดวงอาทิตย์และดาวเคราะห์อื่น ๆ สิ่งเหล่านี้ทำให้รูปทรงลักษณะที่แท้จริงของโลกผิดเพี้ยนไปจากลักษณะรูปทรงรี ซึ่งเป็นลักษณะของโลกรูปทรงรีในสภาวะสมมุติ พื้นผิวโลกที่ปรากฏจึงมีลักษณะขรุขระ สูง ๆ ต่ำ ๆ และไม่เป็นพื้นผิวศักยะเสมอภาค (Equipotential Surface) อย่างไรก็ตามสภาวะจริงของโลกนี้แตกต่างจากสภาวะสมมุติไม่มากนัก จึงทำให้พื้นผิวศักยะเสมอภาคที่ระดับทะเลปานกลางของโลก (ซึ่งเรียกว่ายอดดอย) มีลักษณะใกล้เคียงกับรูปทรงรีมาก

ดังนั้นอาจสรุปได้ว่า ภูมิลักษณะโลก ยอดดอยและรูปทรงรีต่างก็แสดงลักษณะโลกในลักษณะที่แตกต่างกันดังนี้

3.1.1 ภูมิลักษณะของโลก เป็นลักษณะแท้จริงที่ปรากฏ มีความขรุขระ ไม่เป็นรูปทรงเรขาคณิต ไม่มีคุณสมบัติทางกายภาพที่สม่ำเสมอ แต่อย่างไรก็ตาม

3.1.2 ยอดดอย มีพื้นผิวขรุขระไม่เป็นรูปทรงเรขาคณิต เป็นพื้นผิวแสดงระดับทะเลปานกลางของโลก จุดทุกจุดบนยอดดอยจะมีค่าศักยะแรงดึงดูดเท่ากัน สายตาดึงซึ่งแสดงทิศทางของแรงดึงดูดของโลกจะตั้งฉากกับพื้นผิวยอดดอยนี้

3.1.3 รูปทรงรีของโลก เป็นรูปทรงรีเรขาคณิตที่มีขนาดและรูปร่างใกล้เคียงกับบียออยด์มาก

ในงานรังวัดควบคุม จะเกี่ยวข้องกับลักษณะของโลกทั้งสามลักษณะกล่าวคือการรังวัดเพื่อเก็บข้อมูลส่วนใหญ่เป็นการรังวัดบนภูมิลักษณะของโลก ข้อมูลที่ได้จะต้องถูกทอนให้เป็นข้อมูลบนรูปทรงรีอ้างอิงเสียก่อนที่จะนำไปคำนวณในกรณีที่รูปทรงรีมีขนาดลักษณะใกล้เคียงกับบียออยด์มาก อาจทอนข้อมูลการรังวัดให้เป็นข้อมูลบนบียออยด์ก็ได้

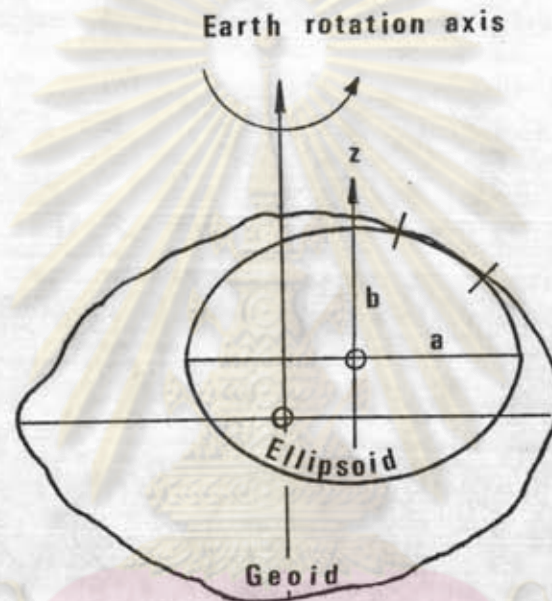
3.2 รูปทรงรีอ้างอิง

รูปทรงรีที่ใช้เป็นพื้นผิวอ้างอิงในการคำนวณและกำหนดปริมาตรต่าง ๆ ในการรังวัดและการแผนที่นั้น อาจจำแนกได้เป็น 2 ชนิดคือ

3.2.1 รูปทรงรีภูมิลักษณะ (Terrestrial Ellipsoid) เป็นรูปทรงรีอ้างอิงสำหรับกิจการที่เกี่ยวข้องกับตำแหน่งของจุดต่าง ๆ ทั่วโลก เช่น งานบียอเดซีกายภาพ งานบียอเดซีดาวเทียม รูปทรงรีนี้มีศูนย์กลางอยู่ที่จุดใจกลางโลกมีแกนสมมาตรขนานกับแกนหมุนเฉลี่ยของโลก มีขนาดลักษณะใกล้เคียงกับบียออยด์ถ้าพิจารณาอย่างกว้าง ๆ ทั่วโลก แต่ถ้าพิจารณาในพื้นที่แคบ ๆ ส่วนใดส่วนหนึ่งของโลกความสมพงษ์ระหว่างรูปทรงรีภูมิลักษณะอาจไม่ดีนัก ยกตัวอย่างเช่น รูปทรงรี WGS เป็นต้น

3.2.2 รูปทรงรีภูมิภาค (Best-Fitting Ellipsoid) เป็นพื้นหลักฐานที่ใช้อ้างอิงในกิจการที่มีอาณาเขตจำกัดภายในพื้นที่ส่วนใดส่วนหนึ่งของโลก เช่น ภายในทวีปหรือภายในกลุ่มประเทศที่มีอาณาเขตติดต่อกัน รูปทรงรีชนิดนี้จะมีขนาดและรูปร่างสมพงษ์กับบียออยด์ในบริเวณที่ใช้งานเท่านั้น แต่มักจะไม่สมพงษ์กับบียออยด์ส่วนอื่นที่อยู่นอกเขต ขนาดลักษณะและตำแหน่งสัมพันธ์กับโลกของรูปทรงรีนี้ จะได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลการรังวัดซึ่งกระทำภายในบริเวณที่เจาะจงใช้งาน เนื่องจากการวิเคราะห์นี้ไม่มีการบังคับตำแหน่งของจุดศูนย์กลางของรูปทรงรีให้กับจุดศูนย์กลางของโลกดังนั้นจุดทั้งสองจึงอยู่คนละตำแหน่ง แกนสมมาตรของรูปทรงรีนี้จะถูกบังคับให้ขนานกับแกนหมุนของโลกโดยลาพลาสะอะซิมุท รูปทรงรีในกิจการรังวัดและการแผนที่นั้น นอกจากจะมีขนาดและรูปร่างตายตัวแล้ว จะต้องถูกกำหนดตำแหน่งสัมพันธ์กับโลกอย่างแน่นอนด้วยจึงจะสมบูรณ์ใช้ เป็นพื้นผิวอ้างอิงได้ สิ่งที่ยกขนาดและรูปร่างนั้นได้แก่ กึ่งแกนยาว (a) และการยุบตัวตามแนวซีก (f) ส่วนการกำหนดตำแหน่งสัมพันธ์กับโลกของรูปทรงรีภูมิภาค ซึ่งมี

แกนสมมาตรขนาน (แต่ไม่ทับ) กับแกนหมุนเฉลี่ยของโลกจะมีจุดจุดหนึ่งกลางพื้นที่เป็นจุดยึดรูปทรงรีกับโลกเข้าด้วยกัน จุดนี้เราเรียกว่า "จุดกำเนิด" ที่จุดนี้จะมีการกำหนดค่าพิกัดยอเดคิก (ϕ_0, λ_0) ค่ามุมเบี่ยงเบนของแนวตั้ง (ξ_0, η_0) ค่าความสูงยอเดคิก (N_0) และการบังคับการหันเหของรูปทรงรีอาจจะทำได้โดยการกำหนดคอคอสมุทยอเดคิก (α_0) ของทิศทางจากจุดกำเนิดไปยังจุดใดจุดหนึ่งหรือใช้การรังวัดลาปลาสะสมุทหลาย ๆ ตำแหน่งเพื่อเป็นการบังคับทิศทางของรูปทรงรี



รูปที่ 3.1 ลักษณะของรูปทรงรีภูมิภาค

3.3 ความเหมาะสมของพื้นหลักฐานอินเดีย 2518 เปรียบเทียบกับพื้นหลักฐานอินเดีย 2497 ที่มีต่อสภาพพื้นผิวยอเดคิกของประเทศไทย

คุณสมบัติของพื้นหลักฐานที่มีความสมพงษ์กับพื้นผิวยอเดคิกจะต้องเป็นไปตามเงื่อนไข

$$\text{ผลรวมของกำลังสองของค่าความสูงยอเดคิก} (\sum N^2) = \text{ค่าต่ำสุด (minimum)} \quad (3.1)$$

นั่นคือพื้นหลักฐานที่เหมาะสมที่จะใช้เป็นพื้นผิวอ้างอิงในกิจการสำรวจควรจะมีผลหรือเป็นพื้นเดียวกันกับพื้นยอเดคิกบริเวณนั้น หรือมีระยะความสูงต่างของพื้นผิวยอเดคิกและพื้นหลักฐาน (พื้นรูปทรงรีอ้างอิง) น้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นได้

3.3.1 ระยะสูงต่างของพื้นผิวขี้ออบด์และพื้นหลักฐานอินเดีย 2497

ในปี พ.ศ. 2521 องค์การแผนที่ กระทรวงกลาโหม สหรัฐอเมริกา ได้ทำการคำนวณตรวจสอบค่าความสูงขี้ออบด์ (Geoid Undulation หรือ Geoid Height) ของพื้นหลักฐานอินเดีย 2497 โดยอาศัยข้อมูลจากสถานีดาวเทียมคอปเปอเรอร์ 11 สถานี และสถานีดาราศาสตร์ 25 สถานี โดยการคำนวณครั้งนี้เลือกจุดเริ่มต้นที่สถานีดาวเทียมหมายเลข 10034 ซึ่งอยู่ในจังหวัดลำปาง โดยถือค่าความสูงขี้ออบด์ ณ สถานีนี้เป็นค่าที่ปราศจากจำนวนแก้ไข สถานี หมายเลข 10034 นี้มีการรังวัดโยงยึดกับหมุดสามเหลี่ยมชั้นที่ 1 ด้วย ฉะนั้น ณ สถานี 10034 จึงมีค่าพิกัดตำแหน่งในระบบพื้นหลักฐานอินเดีย 2497 และค่าพิกัดตำแหน่งทางราบในระบบพื้นหลักฐาน WGS 72

ค่าพิกัดทางราบสถานี 10034 ในเทอมพื้นหลักฐานอินเดีย 2497

ละติจูด	: 18° 19' 27".819 เหนือ
ลองจิจูด	: 99° 23' 00".326 ตะวันออก
ความสูงเหนือรูปทรงรี	: 350.30 เมตร
ความสูงเหนือระดับทะเลปานกลาง	: 264.52 เมตร
ความสูงขี้ออบด์	: 85.78 เมตร

ค่าพิกัดทางราบสถานี 10034 ในเทอมของ WGS 72

ละติจูด	: 18° 19' 32".553 เหนือ
ลองจิจูด	: 99° 22' 47".656 ตะวันออก
ความสูงเหนือรูปทรงรี	: 227.54 เมตร

ณ สถานี 10034 ความแตกต่างทางพิกัดจากพื้นหลักฐานทั้งสอง

$$\Delta x = X_I - X_W = - 257.84 \text{ เมตร}$$

$$\Delta y = Y_I - Y_W = - 721.68 \text{ เมตร}$$

$$\Delta z = Z_I - Z_W = - 260.11 \text{ เมตร}$$

$$X_I, Y_I, Z_I = \text{ค่าพิกัดบนพื้นหลักฐานอินเดีย 2497}$$

$$X_W, Y_W, Z_W = \text{ค่าพิกัดบนพื้นหลักฐานอินเดีย WGS 72}$$

๗ สถานีดาวเทียมคอปเปอเรอร์อื่น ๆ $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ สามารถคำนวณได้จากสูตรการ
เปลี่ยนพื้นหลักฐานและรูปทรงรีของ Molodensky (Rapp, 1976) ดังนี้

$$M\Delta\phi_j = -\sin\phi_j \cos\lambda_j \Delta x - \sin\phi_j \sin\lambda_j \Delta y + \cos\phi_j \Delta z \sin^2\phi_j + (a\Delta f + f\Delta a) \sin 2\phi_j \dots\dots\dots(3.2)$$

$$N\cos\phi_j \Delta\lambda_j = -\sin\lambda_j \Delta x + \cos\lambda_j \Delta y \dots\dots\dots(3.3)$$

$$\Delta H_j = \cos\phi_j \cos\lambda_j \Delta x + \cos\phi_j \sin\lambda_j \Delta y + \sin\phi_j \Delta z + (a\Delta f + \Delta a) \sin^2\phi_j - \Delta a \dots\dots\dots(3.4)$$

$$H'_j = H_j + \Delta H_j \dots\dots\dots(3.5)$$

โดยที่ j เป็นตัวเลขกำกับสถานีคอปเปอเรอร์

(ϕ, λ, H) เป็นค่าพิกัดตำแหน่งในระบบ WGS 72

H'_j เป็นความสูงเหนือรูปทรงรีเอเวอร์เรสต์

(a, f) เป็นขนาดและลักษณะของรูปทรงรี WGS 72

$(\Delta a, \Delta f)$ เป็นความแตกต่างของขนาดและลักษณะของพื้นหลักฐานทั้งสอง

ฉะนั้นค่าความสูงย้อยอดก็สามารถคำนวณได้จาก

$$N_j = H'_j - h_j \dots\dots\dots(3.6)$$

h_j เป็นค่าความสูงเหนือระดับทะเลปานกลาง

สำหรับการคำนวณ ค่าความสูงย้อยอด จากสถานีรังวัดทางดาราศาสตร์ ๗ สถานี
รังวัดทางดาราศาสตร์ทั้ง 25 สถานี เมื่อทราบค่ามุมเบี่ยงเบนของเส้นตั้ง (ξ, η) ของแต่ละ
สถานีรังวัดนั้นก็สามารคำนวณความเปลี่ยนแปลงของค่าความสูงย้อยอดระหว่างสถานีการ
รังวัดทางดาราศาสตร์นั้นได้จาก (Heiskanen & Moritz, 1967)

$$N_{ij} = -s \cdot \frac{\sin}{2} (\xi_i + \xi_j) \cos\alpha_{ij} + (\eta_i + \eta_j) \sin\alpha_{ij} \dots\dots(3.7)$$

และเพื่อที่จะเชื่อมโยงสมการการรังวัด 2 ชนิดคือการรังวัดจากสถานีคอปเปอเรอร์
และการรังวัดทางดาราศาสตร์เข้าด้วยกัน จำเป็นต้องทราบค่ามุมเบี่ยงเบนของเส้นตั้ง ๗ สถานี
คอปเปอเรอร์เหล่านั้นด้วย ๗ สถานี 10034 มีการรังวัดทางดาราศาสตร์อยู่แล้วจึงทราบค่ามุม
เบี่ยงเบนของเส้นตั้งสำหรับสถานีคอปเปอเรอร์อื่น ๆ ใช้วิธีการเทียบสัดส่วน (Interpolate)

จากสถานีดาราศาสตร์ข้างเคียง และค่าความสูงย้อยดต์ "85.78 เมตร" ณ สถานี 10034 เป็นค่าประมาณเริ่มต้นในการคำนวณการเปลี่ยนแปลงของค่าความสูงย้อยดต์ การเปลี่ยนแปลงของค่าความสูงย้อยดต์นั้นสามารถคำนวณได้จากหลายแนวทาง ดังนั้นค่าผลเฉลี่ยของค่าความสูงย้อยดต์จึงใช้เป็นค่าประมาณของพารามิเตอร์ในการปรับแก้โดยมีสมการสังเกตดังต่อไปนี้

$$V_{ij} = (N_j + \Delta N_j) - (N_i + \Delta N_i) - \Delta N_{ij} \quad \dots\dots\dots(3.8)$$

- โดยที่ N_i, N_j ค่าประมาณของความสูงย้อยดต์ ณ จุด P_i และ P_j
 $\Delta N_i, \Delta N_j$ ค่าแก้ของ N_i และ N_j
 ΔN_{ij} ค่าความเปลี่ยนแปลงความสูงย้อยดต์ระหว่างสถานี จากสมการ (3.7)
 ξ, η ค่ามุมเบี่ยงเบนของเส้นตั้งในแนว เมอริเดียนและแนวตั้งฉากกับ
 เมอริเดียน
 S ระยะทางระหว่าง P_i และ P_j
 α_{ij} อะซิมุทย้อยดต์ระหว่าง P_i และ P_j
 V_{ij} ค่าเศษเหลือ (residual)

สำหรับสมการค่าสังเกตของสถานีดาวเทียมที่ใช้ในการปรับแก้ลิสต์สแควร์ได้จาก

$$V_i = n_i + \Delta N_i - N_i^0 \quad \dots\dots\dots(3.9)$$

โดยที่ N_i^0 ค่าความสูงย้อยดต์ที่ได้จากสถานีคอปเปเลอร์

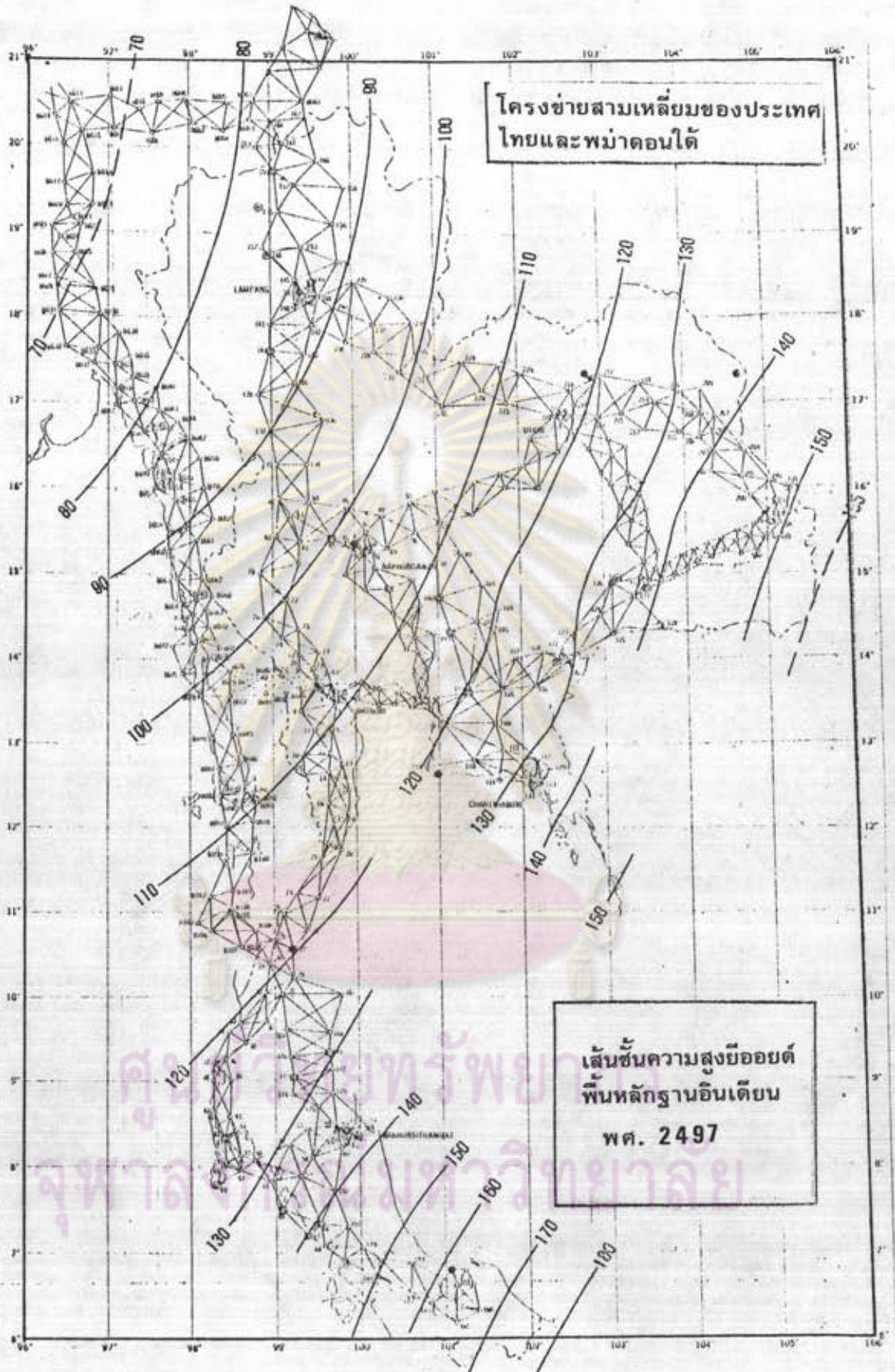
$$N_i^0 = H_i - h_i$$

$$N_i = \text{ค่าประมาณของพารามิเตอร์}$$

$$\Delta N_i = \text{ค่าแก้ของ } N_i$$

จากข้อมูลทั้งจากสถานีดาวเทียมและสถานีดาราศาสตร์ สามารถสร้างสมการสังเกตได้ 63 สมการ จาก 36 สถานี และจำนวนพารามิเตอร์ 35 จำนวน ค่าความสูงย้อยดต์ ณ สถานี 10034 ถือเป็นค่าตายตัวในการปรับแก้

ผลจากการคำนวณ ตรวจสอบค่าความสูงย้อยดต์ของพื้นหลักฐานอินเดียน 2497 ทำให้ทราบว่า พื้นหลักฐานอินเดียน 2497 มีระยะห่างจากพื้นย้อยดต์ระหว่าง 73-168 เมตร คึงเส้น-
 ขึ้นความสูงย้อยดต์ ที่แสดงไว้ในรูป 3.2



รูปที่ 3.2 เส้นชั้นความสูงย่อยคี่ของพื้นหลักฐานอินเดีย 2497
(Geodetic Memorandum No. 1697)

3.3.2 ระยะสูงต่างของพื้นที่ยอดค้ำในประเทศไทยกับพื้นหลักฐานอินเดีย 2518

องค์การแผนที่ กระทรวงกลาโหม สหรัฐอเมริกา ได้ทำการคำนวณค่าความสูงยอดค้ำของพื้นหลักฐานอินเดีย 2518 และได้ส่งข้อมูลหลังการคำนวณและปรับแก้ให้กรมแผนที่ทหาร ประเทศไทย พร้อมกันกับค่าค้ำคักทางราบในระบบพื้นหลักฐานอินเดีย 2518 วิธีการคำนวณและการปรับแก้ค่าความสูงยอดค้ำ ใช้วิธีการและสมการค่าสังเกตเช่นเดียวกันกับการคำนวณค่าความสูงยอดค้ำของพื้นหลักฐานอินเดีย 2497 ตามข้อ 3.3.1 ข้อแตกต่างก็คือใช้สถานีดอปเปิลอร์หมายเลข 10084 (เขาสะแกกรัง) ซึ่งกำหนดค่าความสูงยอดค้ำให้เท่ากับ - 20.46 เมตรเป็นค่าตายตัวในการปรับแก้ การคำนวณและปรับแก้ค่าความสูงยอดค้ำของพื้นหลักฐานอินเดีย 2518 ใช้ข้อมูลจากสถานีดอปเปิลอร์ 11 สถานี สถานีดาราศาสตร์ 16 สถานี จากสถานีดอปเปิลอร์สามารถสร้างสมการสังเกต 11 สมการ และจากสถานีดาราศาสตร์ 37 สมการ

ผลจากการคำนวณและปรับแก้ค่าความสูงยอดค้ำของพื้นหลักฐานอินเดีย 2518 ทำให้ทราบว่า พื้นหลักฐานอินเดีย 2518 มีค่าความสูงยอดค้ำระหว่าง - 45 ถึง 45 เมตร ดังเส้นชั้นความสูงยอดค้ำ ที่แสดงไว้ในรูป 3.3

3.3.3 การวิเคราะห์ความเบี่ยงเบนของเส้นตั้งบนพื้นหลักฐานทั้งสอง

พื้นหลักฐานที่เหมาะสมกับกิจการรังวัดและการแผนที่นอกจากจะมีเงื่อนไขตามสมการ (3.1) คือ $\Sigma N^2 = \text{ค่าต่ำสุด (Minimum)}$

ยังอาจใช้เงื่อนไข

$$\Sigma(\xi^2 + \eta^2) = \text{ค่าต่ำสุด (minimum)} \quad \dots \quad (3.10)$$

โดยที่ ξ = ความเบี่ยงเบนของเส้นตั้งในแนวเมริเดียน
= $\phi - \phi$

η = ความเบี่ยงเบนของเส้นตั้งในแนวตั้งฉากกับเมริเดียน
= $(\Lambda - \lambda) \cos \phi$

ϕ = ละติจูดดาราศาสตร์, Λ = ลองจิจูดดาราศาสตร์

ϕ = ละติจูดย็อดเคติก, λ = ลองจิจูดย็อดเคติก



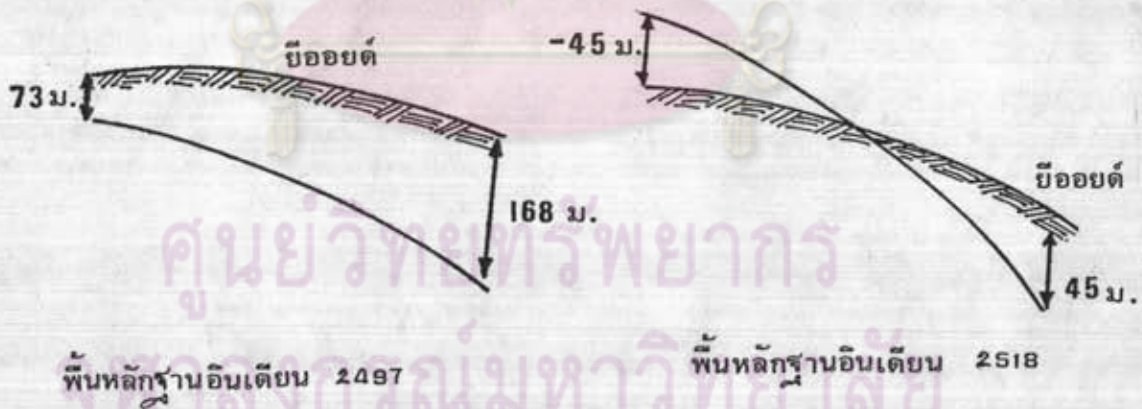
รูปที่ 3.3 เส้นชั้นความสูงบียอนด์ของพื้นหลักฐานอินเดีย 2518
(Geodetic Memorandum No. 1692)

จากสูตรข้างบนแสดงให้เห็นว่าความเปียงเบนของเส้นตั้งนั้น สามารถคำนวณได้ ณ สถานที่ที่มีการรังวัดทั้งทางดาราศาสตร์และทางฮืออเดติกควบคู่กันไป ปัจจุบันกรมแผนที่ทหาร ได้ทำการรังวัดทางดาราศาสตร์รวมทั้งสิ้น 35 สถานีกระจายอยู่ทั่วไป แต่มีเพียง 24 สถานีเท่านั้นที่มีการรังวัดทางฮืออเดติกพร้อมกันไปด้วย ฉะนั้นการวิเคราะห์ความเหมาะสมของหลักฐานทั้งสอง กระทำได้ ณ สถานีทั้ง 24 สถานีดังกล่าว ตารางที่ 3.1 แสดงถึงการวิเคราะห์ความเปียงเบนของเส้นตั้งบนพื้นหลักฐานทั้งสองเปรียบเทียบกัน ได้ผลสรุปดังนี้

$$\Sigma(\xi^2 + \eta^2) \text{ บนพื้นหลักฐานอินเดียย 2497} = 7812^{\circ}968$$

$$\Sigma(\xi^2 + \eta^2) \text{ บนพื้นหลักฐานอินเดียย 2518} = 7816^{\circ}768$$

รูปที่ 3.5, 3.6 แสดงความเปียงเบนของเส้นตั้ง (ξ, η) บนพื้นหลักฐานทั้งสอง การที่พิจารณาจาก $\Sigma(\xi^2 + \eta^2)$ แล้วพบว่าพื้นหลักฐานทั้งสองให้ค่าที่ใกล้เคียงกัน เป็นเพราะพื้นหลักฐานทั้งสองเกือบขนานกัน โดยการพิจารณาเปรียบเทียบค่าเส้นชั้นความสูง ฮืออเดติกในรูป 3.2 และ 3.3 ว่าเป็นลักษณะของการเลื่อนพื้นหลักฐานขึ้น ดังรูปที่ 3.4 โดยความต่างสัมพัทธ์ยังมีค่าประมาณ 85 เมตรเท่าเดิม



รูปที่ 3.4 แสดงการขนานกันของพื้นหลักฐานอินเดียย 2497 และ 2518

ตารางที่ 3.1 การวิเคราะห์ความเหมาะสมของพื้นที่หลักฐานอินเดียน 2497

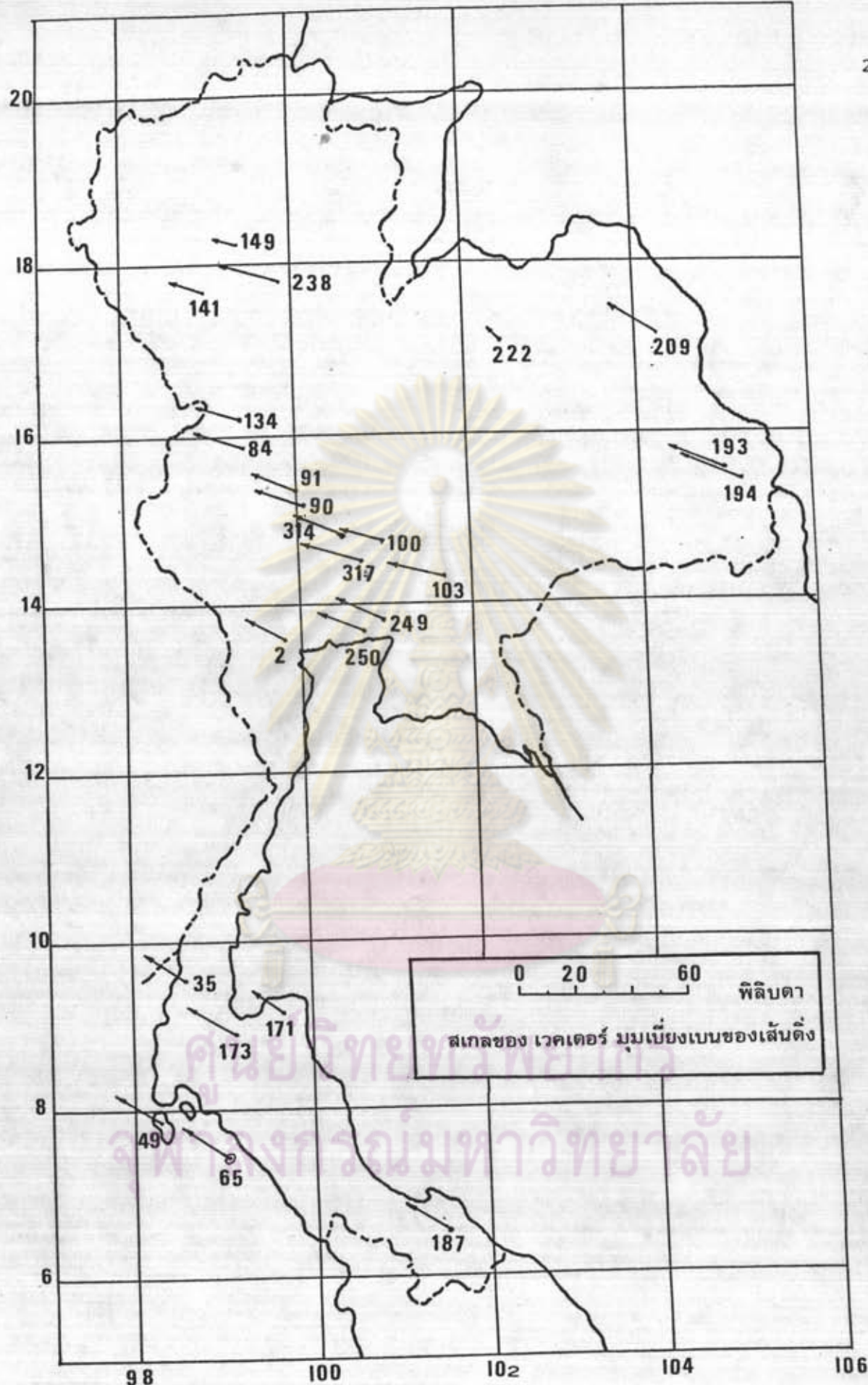
และพื้นที่หลักฐานอินเดียน 2518 โดยพิจารณาจากความเบี่ยงเบน

ของเส้นตั้ง (ξ , η)

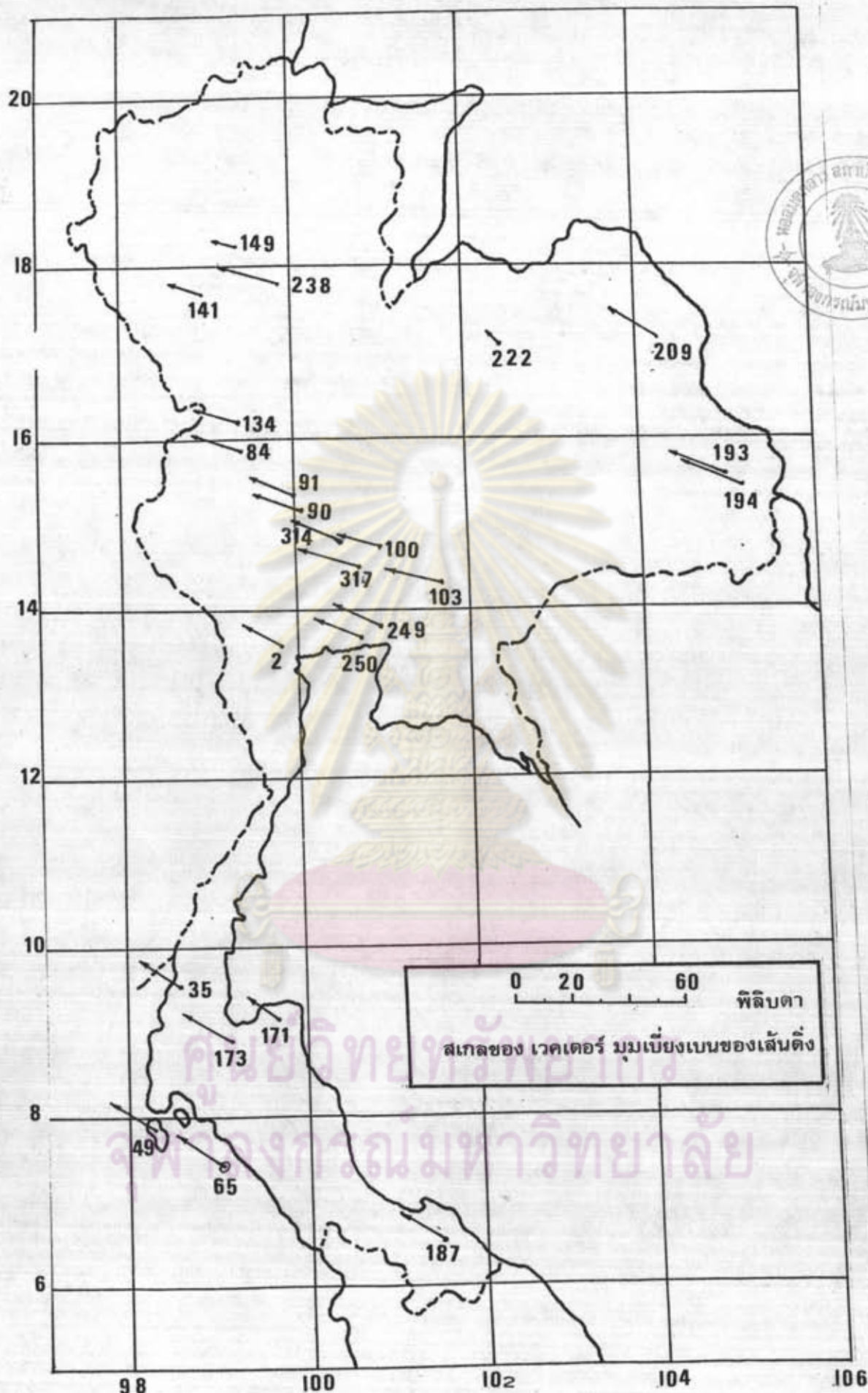
ลำดับ	หมายเลข สถานี	ϕ 2497	λ 2497	ξ 2497	η 2497	ξ 2518	η 2518
1	2	13 ^o 33' 09".781	99 ^o 50' 20".565	8".504	- 15.296	8".845	- 15.752
2	193	15 35 46.499	105 01 37.318	8.665	- 21.892	8.666	- 21.712
3	222	16 54 43.483	102 32 25.520	4.547	- 4.095	4.344	- 2.863
4	187	6 43 50.268	101 05 59.020	11.856	- 16.891	12.879	- 16.026
5	209	17 11 25.234	104 13 33.029	11.308	- 17.776	11.095	- 17.683
6	65	7 30 55.482	99 04 51.410	11.083	- 17.214	12.211	- 18.105
7	149	18 27 27.403	99 30 16.128	1.252	- 8.123	.926	- 7.619
8	103	14 20 29.272	101 10 08.497	5.408	- 20.961	5.144	- 20.861
9	100	14 44 25.106	101 00 36.460	4.288	- 17.170	4.013	- 17.051
10	317	14 41 13.582	100 47 03.113	5.971	- 22.903	5.831	- 22.745
11	314	14 50 41.865	100 25 30.031	7.179	- 15.095	7.022	- 14.900

ตารางที่ 3.1 (ต่อ)

ลำดับ	หมายเลข สถานี	φ 2497	λ 2497	ξ 2497	η 2497	ξ 2518	η 2518
12	49	7° 48' 30".393	98° 19' 13".621	10".153	- 16.367	11".334	- 17.186
13	141	17 38 06.749	98 59 27.152	3.377	- 13.711	3.119	- 13.175
14	35	9 36 54.098	98 28 38.756	10.526	- 15.474	11.602	- 14.861
15	173	9 03 00.280	99 14 46.685	10.410	- 17.381	11.416	- 18.125
16	171	9 23 24.551	99 40 30.011	10.319	- 13.315	11.251	- 14.056
17	194	15 34 08.990	105 08 13.897	9.400	- 21.243	9.423	0 21.071
18	91	15 22 55.919	100 00 59.463	7.114	- 16.505	6.974	- 16.243
19	90	15 15 26.558	100 07 50.364	7.049	- 17.308	6.845	- 17.079
20	250	13 36 08.979	100 42 35.195	7.704	- 17.540	7.564	- 17.511
21	249	13 43 21.327	100 44 27.712	8.854	- 17.539	8.770	- 17.450
22	84	15 53 03.832	99 27 40.952	6.407	- 18.886	6.300	- 18.501
23	134	16 18 35.018	99 27 08.561	5.333	- 16.004	5.170	- 15.570
24	238	17 44 37.671	99 55 58.119	7.565	- 21.310	7.285	- 20.835



รูปที่ 3.5 เวกเตอร์แสดงมุมเบี่ยงเบนของเส้นตั้ง (θ) บนพื้นหลักฐานอินเดียน 2497



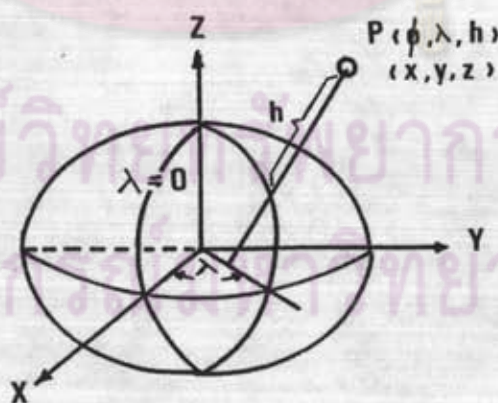
รูปที่ 3.6 เวกเตอร์แสดงมุมเบี่ยงเบนของเส้นตั้ง (θ) บนพื้นหลักฐานอินเดียน 2518

3.3.4 การเปรียบเทียบความคงเส้นคงวา ระหว่างค่าพิกัดของพื้นหลักฐานอินเดีย 2497 และพื้นหลักฐานอินเดีย 2518 โดยพิจารณาจากพิกัดของสถานีคอปเปเลอร์

ในการปรับแก้โครงข่ายสามเหลี่ยมชั้นที่ 1 ของประเทศไทย ได้ใช้สถานีรังวัดด้วยดาวเทียมโดยวิธีคอปเปเลอร์ซึ่งตั้งอยู่ในประเทศไทยเข้ามาใช้ร่วมในการปรับแก้ครั้งนี้ด้วย สถานีคอปเปเลอร์เหล่านี้สามารถคำนวณหาค่าพิกัดในระบบพื้นหลักฐาน WGS-72 ได้โดยค่าที่ได้มีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 1 เมตร ความคงเส้นคงวา (Consistency) ระหว่างพิกัดตำแหน่งของสถานีคอปเปเลอร์ต่าง ๆ อยู่ในเกณฑ์ สามารถใช้เป็นพิกัดควบคุมในงานวางโครงข่ายควบคุมทางราบชั้นที่ 1 ได้ ณ สถานีคอปเปเลอร์ดังกล่าวแต่ละสถานี จะมีข้อมูลดังนี้

- ก. พิกัดฉากในระบบ WGS-72 เป็น X_W, Y_W, Z_W
- ข. พิกัดในระบบพื้นหลักฐานอินเดีย 2497 เป็น ϕ, λ, h
- ค. พิกัดในระบบพื้นหลักฐานอินเดีย 2518 เป็น ϕ, λ, h

จากความสัมพันธ์ระหว่างพิกัดยอเดคิกและพิกัดฉาก ตามรูป 3.7



รูป 3.7 ความสัมพันธ์ระหว่างพิกัดยอเดคิกและพิกัดฉาก

สูตรความสัมพันธ์ของระบบพิกัดทั้งสองนี้เป็น (Rapp, 1976)

$$X = (N + h) \cos\phi \cos\lambda \quad \dots\dots\dots (3.11)$$

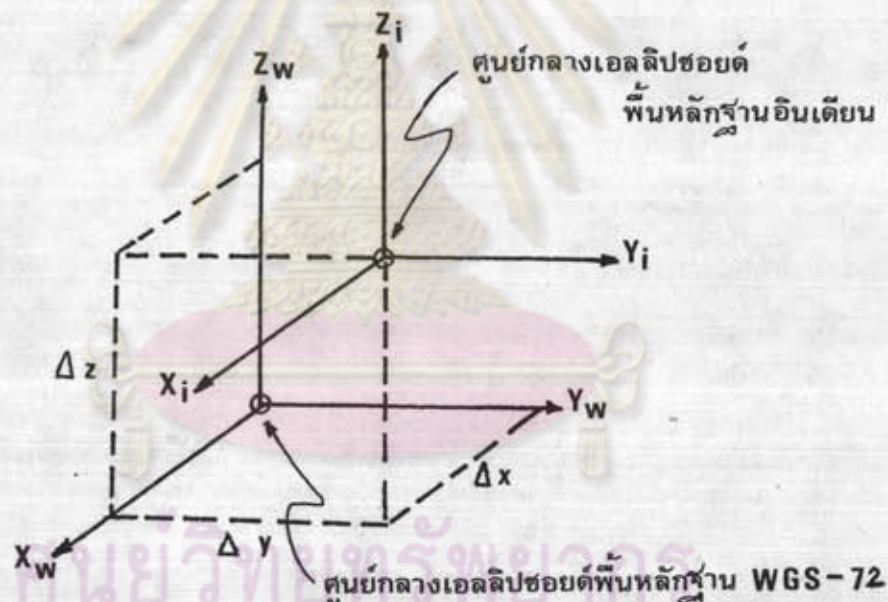
$$Y = (N + h) \cos\phi \sin\lambda \quad \dots\dots\dots (3.12)$$

$$Z = (N (1 + e^2) + h) \sin\phi \quad \dots\dots\dots (3.13)$$

$$N = a / (1 - e^2 \sin^2\phi)^{1/2}$$

h = ความสูงของจุด P เหนือรูปทรงรี

ระบบพิกัดฉากของทั้งสามระบบคือ WGS-72, อินเดียน 2497 และอินเดียน 2518 จะมีแกนขนานกันโดยที่ WGS-72 มีศูนย์กลางทับกับศูนย์กลางโลก (ระบบอื่นไม่ทับ) ดังรูป



รูป 3.8 ตำแหน่งศูนย์กลางรูปทรงรีระบบ WGS-72 และระบบอินเดียน 2497

ดังนั้นการแปลงพิกัดจากระบบหนึ่งไปเป็นอีกระบบหนึ่ง ซึ่งมีพารามิเตอร์ในการแปลงตัว คือ $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ ค่า $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ นี้สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$\begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{bmatrix}_{2497} - \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \end{bmatrix}_{\text{WGS-72}}$$

2518

ทั้งนี้โดยใช้สถานีคอปเปอเรเตอร์เพียงสถานีเดียว ในกรณีที่มีสถานีคอปเปอเรเตอร์หลายสถานีจะสามารถคำนวณ Δx , Δy , Δz ได้หลายชุด และสามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้ ถ้า Δx , Δy , Δz ของพื้นหลักฐานมีค่าพ้องกันดีย่อมแสดงว่าค่าพิกัดบนพื้นหลักฐานนั้นมีความคงเส้นคงวาดี ผลการคำนวณค่า Δx , Δy , Δz ณ สถานีคอปเปอเรเตอร์ 11 สถานี สำหรับพื้นหลักฐานอินเดีย 2497 และ WGS 72 ตามตาราง 3.2 จะเห็นว่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) มีขนาดดังนี้

$$\sigma \Delta x = 16.96 \text{ เมตร}$$

$$\sigma \Delta y = 19.62 \text{ เมตร}$$

$$\sigma \Delta z = 13.79 \text{ เมตร}$$

และสำหรับพื้นหลักฐานอินเดีย 2518 และ WGS 72 ตามตาราง 3.3 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น

$$\sigma \Delta x = 0.81 \text{ เมตร}$$

$$\sigma \Delta y = 1.10 \text{ เมตร}$$

$$\sigma \Delta z = 0.71 \text{ เมตร}$$

จากตัวเลขเหล่านี้สามารถสรุปได้ว่า ค่าพิกัดบนพื้นหลักฐานอินเดีย 2518 มีความคงเส้นคงวาทีกว่าพื้นหลักฐานอินเดีย 2497 ซึ่งเนื่องมาจากพื้นหลักฐานอินเดีย 2497 ใช้วิธีการปรับแก้ที่กระทำเป็นส่วน ๆ ต่อเนื่องกัน ทำให้การกระจายความคลาดเคลื่อนทำได้ไม่ดี และยังมีความคลาดเคลื่อนจากการละเลยการตรวจแก้ข้อมูลที่รังวัดมาได้ สำหรับพื้นหลักฐานอินเดีย 2518 ใช้วิธีการปรับแก้พร้อมกันทั้งโครงข่าย มีสถานีคอปเปอเรเตอร์ซึ่งมีความถูกต้องสูงเป็นตัวควบคุม จำนวนข้อมูลมากกว่าจึงทำให้ความคงเส้นคงวาทีกว่าพื้นหลักฐานอินเดีย 2497

ตารางที่ 3.2 ความต่างของพิกัดที่จุดศูนย์กลางโลกระหว่างพื้นหลักฐาน
อินเดียน 2497 และพื้นหลักฐาน WGS-72 (Geodetic
Memorandum No. 1692)

จำนวน	หมายเลขสถานี	ΔX (เมตร)	ΔY (เมตร)	ΔZ (เมตร)
1	10034	- 244.56	- 802.02	- 257.09
2	10035	- 224.21	- 850.48	- 298.47
3	10036	- 224.77	- 862.03	- 297.35
4	10037	- 231.98	- 832.68	- 295.19
5	10040	- 225.15	- 835.91	- 296.61
6	10042	- 229.61	- 826.10	- 302.05
7	10073	- 230.97	- 831.27	- 294.24
8	10083	- 225.43	- 845.49	- 303.55
9	10082	- 180.97	- 872.03	- 263.44
10	10083	- 205.72	- 835.54	- 264.64
11	10084	- 235.11	- 818.40	- 288.52
ผลเฉลี่ยปานกลาง (ม.)		- 223.50	- 837.45	- 290.10
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ม.)		16.92	19.62	13.79

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.3 ความต่างของพิกัดที่จุดศูนย์กลางโลก ระหว่างพื้นหลักฐาน
อินเดียน 2518 และพื้นหลักฐาน WGS-72 (Geodetic
Memorandum No. 1692)

จำนวน	หมายเลขสถานี	ΔX (เมตร)	ΔY (เมตร)	ΔZ (เมตร)
1	10034	- 222.82	- 835.71	- 288.17
2	10035	- 224.60	- 835.17	- 289.20
3	10036	- 223.41	- 837.57	- 288.96
4	10039	- 223.80	- 838.48	- 289.39
5	10040	- 223.07	- 836.42	- 288.89
6	10073	- 221.39	- 837.25	- 289.22
7	10080	- 223.07	- 839.30	- 289.84
8	10082	- 223.17	- 838.66	- 289.62
9	10083	- 223.37	- 836.75	- 291.26
10	10084	- 223.50	- 837.46	- 290.11
ผลเฉลี่ยปานกลาง (ม.)		- 223.22	- 837.56	- 289.57
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ม.)		0.81	1.10	0.71

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.4 สรุป

ถึงแม้ว่าพื้นหลักฐานอินเดีย 2518 จะไม่ใช่พื้นหลักฐานที่ดีที่สุดสำหรับประเทศไทย ทั้งนี้เพราะความแนบสนิทระหว่างย็อยด์กับพื้นหลักฐานยังไม่สมบูรณ์ ดังรูป 3.6 และค่ามุม เบียงเบนของเส้นตั้ง ($\Sigma(\xi^2 + \eta^2)$) ที่คำนวณได้ยังไม่ดีไปกว่าเดิมตามข้อ 3.3.3 แนวทางที่จะปรับปรุงพื้นหลักฐานอินเดีย 2518 ให้มีความแนบสนิทกับพื้นย็อยด์มากยิ่งขึ้น โดยการกำหนดค่าเบียงเบนของเส้นตั้ง (ξ_0, η_0) สำหรับจุดกำเนิดใหม่ แต่การทำเช่นนี้มีผลให้แกหมุมของรูปทรงรีไม่ขนานกับแกนหมุนของโลกซึ่งผิดจุดประสงค์หลักของการกำหนดพื้นหลักฐานอ้างอิงซึ่งกำหนดให้แกนของรูปทรงรีขนานกับแกนหมุนของโลก อย่างไรก็ตามเมื่อมีการเปรียบเทียบกับพื้นหลักฐานอินเดีย 2497 แล้วพื้นหลักฐานอินเดีย 2518 มีความแนบสนิทกับย็อยด์ในประเทศไทยมากกว่า อีกทั้งค่าพิกัดในโครงข่ายสามเหลี่ยมก็มีความน่าเชื่อถือกว่า ทั้งนี้เพราะมีข้อมูลจากงานรังวัดมากกว่าและทำการปรับแก้พร้อม ๆ กันทั้งโครงข่ายโดยมีข้อมูลจากการรังวัดดาวเทียมเป็นตัวบังคับโครงข่ายให้มีความถูกต้องดียิ่งขึ้น จึงเป็นการดีกว่าที่จะนำเอาค่าพิกัดในโครงข่ายสามเหลี่ยมบนพื้นหลักฐานอินเดีย 2518 มาใช้ในงานรังวัดและการทำแผนที่แทนค่าพิกัดในโครงข่ายพื้นหลักฐานอินเดีย 2497 ที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย